

OPTIMASI EFISIENSI FLOKULASI PADA PROSES PANEN MIKROALGA POTENSIAL PENGHASIL BIODIESEL DENGAN FLOKULAN ION MAGNESIUM

(Optimization of Flocculation Efficiency in the Harvesting Process of Potential Biodiesel Producing Microalgae by using Magnesium Ions)

Swastika Praharyawan¹ dan Silviredeta Anindya Putri²

¹Pusat Penelitian Bioteknologi-LIPI, Jl. Raya Bogor KM. 46, Cibinong 16911, Indonesia

²Departemen Biokimia, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Dramaga, Bogor, Indonesia
e-mail: swastika.praharyawan@gmail.com

Naskah diterima 21 Agustus 2017, revisi akhir 10 Oktober 2017 dan disetujui untuk diterbitkan 11 Oktober 2017

ABSTRAK. Mikroalga berpotensi sebagai bahan baku biodiesel. Metode flokulasi layak untuk diterapkan pada pemanenan mikroalga karena berbiaya rendah. Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimasi efisiensi flokulasi yang menggunakan metode otoflokulasi di bawah pengaruh nilai pH, konsentrasi ion magnesium, konsentrasi biomassa dan waktu flokulasi. Proses flokulasi dilakukan pada suspensi sel mikroalga konsentrasi 0,2 hingga 1 g/L dengan menggunakan ion magnesium (1 hingga 5 mM) pada suasana basa (pH 9-12) selama waktu tertentu (30 dan 60 menit) melalui mekanisme netralisasi muatan dan penyapuan (sweeping). Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi ion magnesium, nilai pH dan konsentrasi biomassa memberikan pengaruh yang signifikan terhadap efisiensi flokulasi sel-sel mikroalga sedangkan waktu flokulasi tidak menunjukkan pengaruh signifikan. Efisiensi flokulasi meningkat secara signifikan pada konsentrasi ion magnesium hingga 4 mM dan dimulai pada pH 10 untuk kultur mikroalga dengan konsentrasi biomassa tinggi (1 g/L) dan pada pH 11,5 untuk kultur dengan konsentrasi biomassa rendah (0,2 g/L) sedangkan pH optimum untuk kedua kultur adalah 11,75. Nilai efisiensi flokulasi untuk kultur mikroalga dengan konsentrasi biomassa tinggi pada kondisi optimum mencapai 94,89%, sementara nilai efisiensi flokulasi untuk kultur dengan konsentrasi biomassa rendah adalah 89,75%.

Kata kunci: efisiensi flokulasi, flokulasi, ion magnesium, mikroalga

ABSTRACT. Flocculation is a feasible method for harvesting microalgae due to its lower cost. This research aims to optimize the flocculation efficiency in harvesting biodiesel-producing microalgae. Flocculation process was conducted towards microalgae cell suspension on 0.2-1 g/L range concentration by applying magnesium ions (1 until 5 mM) at alkaline condition (pH 9-12) in 30 and 60 minutes using neutralization and sweeping. The result showed that magnesium ion concentration, pH value and biomass concentration had significant effect on the efficiency of microalgae cells flocculation, while flocculation time did not show significant effect. Flocculation efficiency increased when magnesium ion concentration was 4 mM and started at pH 10 for microalgae culture with high biomass concentration and at pH 11.5 for low biomass concentration, while optimum pH for both culture was 11.75. Flocculation efficiency for microalgae with high concentration of biomass at optimum condition was 94.89% while for the low one was 89.75%.

Keywords: flocculation, flocculation efficiency, magnesium ions, microalgae

1. PENDAHULUAN

Saat ini, mikroalga dianggap sebagai bahan baku biodiesel paling potensial (Chisti, 2007). Indonesia memiliki perairan dengan beragam kondisi yang menyimpan kekayaan hayati, termasuk mikroalga. Eksplorasi sumber daya alam perairan Indonesia harus dilakukan dengan tujuan untuk menemukan strain-strain mikroalga potensial yang bermanfaat bagi kehidupan manusia, termasuk potensial dalam menghasilkan sumber energi biodiesel.

Studi dari Praharyawan, *et al.* (2016) telah berhasil menemukan strain mikroalga lokal potensial penghasil biodiesel. Berdasarkan hasil karakterisasi morfologi serta profil asam lemak, strain mikroalga tersebut memiliki kemiripan dengan mikroalga genus *Choricystis* (Chen, *et al.*, 2017; Menezes, *et al.*, 2016; Tsolcha, *et al.*, 2015). Kemampuan tumbuh mikroalga tersebut terbilang baik sehingga juga berpotensi untuk dikembangkan ke skala komersial. Salah satu tantangan terbesar dalam mewujudkan produksi biodiesel dari mikroalga pada skala komersial adalah menemukan metode pemanenan yang bisa digunakan untuk kultur sel bervolume besar dengan berbiaya rendah (Vandamme, *et al.*, 2013).

Metode flokulasi merupakan metode pemanenan mikroalga yang potensial untuk diadopsi karena berbiaya rendah (Christenson & Sims, 2011). Salah satu mekanisme yang terjadi pada proses flokulasi sel mikroalga adalah oflokulasi sebagai akibat dari tingginya nilai pH pada kultur mikroalga (Schlesinger, *et al.*, 2012). Oflokulasi pada pH tinggi terjadi sebagai hasil dari adanya pengendapan garam magnesium atau kalsium yang terkandung di dalam media kultur. Khusus untuk garam kalsium, konsentrasi fosfat yang tinggi (0,1-0,2 mM) diperlukan sebagai syarat terjadinya flokulasi (Vandamme, *et al.*, 2012). Namun, konsentrasi fosfat pada media tumbuh mikroalga biasanya tidak tinggi, bahkan cenderung rendah. Flokulasi bisa diinduksi oleh presipitasi magnesium hidroksida untuk kondisi dengan konsentrasi fosfat rendah (Garcia-Perez, *et al.*, 2014).

Presipitasi magnesium hidroksida terjadi pada nilai pH di atas 10,5 dan presipitat yang terbentuk memiliki muatan positif pada nilai pH hingga 11,5. Muatan positif tersebut dapat berinteraksi dengan permukaan sel mikroalga yang bermuatan negatif sehingga flokulasi bisa terjadi (Smith & Davis, 2012). Kandungan magnesium di dalam kebanyakan jenis air cukup tinggi dengan jumlah yang memungkinkan untuk flokulasi sehingga peningkatan biaya pada proses flokulasi sel mikroalga hanya untuk peningkatan nilai pH (Vandamme, *et al.*, 2012).

Efektivitas proses flokulasi sel mikroalga menggunakan ion magnesium diukur berdasarkan nilai efisiensi flokulasi yang diperoleh. Efisiensi flokulasi merupakan ukuran seberapa banyak sel mikroalga yang berhasil dipindahkan dari kultur dan dinyatakan dalam persentase (Garcia-Perez, *et al.*, 2014). Semakin tinggi nilai efisiensi flokulasi maka semakin banyak sel mikroalga di dalam media yang mengalami flokulasi. Beberapa studi yang terkait dengan flokulasi menggunakan magnesium menyatakan bahwa nilai efisiensi flokulasi dipengaruhi oleh berbagai faktor antara lain nilai pH, konsentrasi ion magnesium di dalam media dan konsentrasi sel mikroalga (Wu, *et al.*, 2012; Vandamme, *et al.*, 2012). Optimasi dari ketiga faktor itu diharapkan dapat meningkatkan nilai efisiensi flokulasi yang diperoleh sehingga proses pemanenan sel mikroalga dapat berjalan dengan efektif. Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimasi efisiensi flokulasi pada proses pemanenan mikroalga lokal potensial penghasil biodiesel yang menggunakan metode oflokulasi di bawah pengaruh nilai pH, konsentrasi ion magnesium, konsentrasi biomassa dan waktu flokulasi.

2. METODE PENELITIAN

Mikroalga dan Kondisi Kultivasi

Strain mikroalga yang digunakan pada penelitian ini diisolasi dari danau air tawar yang berada di provinsi Bengkulu. Strain tersebut merupakan koleksi dari Laboratorium Bioenergi dan Bioproses,

Pusat Penelitian Bioteknologi-LIPI dan diberi kode LIPI-LBB13-AL045. Kultur mikroalga ditumbuhkan dalam medium AF6 yang mengandung (mM) 1,65 NaNO_3 ; 0,275 NH_4NO_3 ; 0,12 $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; 0,074 KH_2PO_4 ; 0,029 K_2HPO_4 ; 0,068 $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; 0,1 CaCO_3 ; 0,008 $\text{C}_6\text{H}_5\text{FeO}_7$ dan 0,01 $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$.

Sel mikroalga ditumbuhkan di dalam botol berukuran 600 mL dengan volume sebanyak 500 mL. Kultur mikroalga di-aerasi dengan menggunakan pompa udara dan penyinaran dilakukan di bawah sinar matahari. Pertumbuhan mikroalga dipantau melalui pengukuran absorbansi pada panjang gelombang 680 nm. Pengukuran absorbansi dikalibrasi dengan bobot kering biomassa mikroalga yang ditentukan secara gravimetri sehingga hubungan absorbansi dan konsentrasi biomassa dapat diketahui. Eksperimen flokulasi dilakukan dengan menggunakan kultur mikroalga yang telah mencapai fase akhir stasioner berumur 14 hari.

Eksperimen Flokulasi

Magnesium ditambahkan dalam bentuk magnesium sulfat (MgSO_4) dan dimasukkan ke dalam suspensi sel sedemikian rupa sehingga mencapai konsentrasi yang diinginkan. Setiap eksperimen flokulasi dilakukan dalam tiga kali pengulangan. Pada proses flokulasi sel-sel mikroalga dengan menggunakan ion magnesium, nilai pH larutan diatur pada kisaran pH basa menggunakan larutan natrium hidroksida. Hal itu bertujuan untuk menginisiasi pengendapan magnesium hidroksida dan untuk menstimulasi terjadinya flokulasi sel oleh ion magnesium (Garcia-Perez, *et al.*, 2014).

Kultur mikroalga disentrifugasi pada kecepatan 6000 rpm selama 10 menit kemudian diresuspensi dengan akuades untuk mendapatkan biomassa mikroalga. Suspensi diatur agar memiliki konsentrasi biomassa tertentu dengan cara mengukur absorbansi larutan sel pada panjang gelombang 680 nm sehingga konsentrasi biomasanya bisa diperoleh melalui substitusi ke persamaan garis hubungan konsentrasi biomassa dengan absorbansi suspensi sel.

Efisiensi flokulasi dihitung dari perubahan kepadatan sel antara sebelum dan sesudah proses flokulasi. Perubahan kepadatan sel diukur secara spektrofotometri pada panjang gelombang 680 nm. Efisiensi flokulasi (Ef) atau persentase biomassa mikroalga yang dipindahkan dari suspensi dihitung dengan menggunakan Persamaan 1 dimana ODsb adalah kepadatan sel (*optical density*) sebelum flokulasi sedangkan ODst adalah kepadatan sel setelah flokulasi.

$$Ef = \frac{ODsb - ODst}{ODsb} \times 100\% \dots\dots (1)$$

Pengaruh Ion Magnesium, pH dan Waktu Flokulasi terhadap Efisiensi Flokulasi

Konsentrasi biomassa dibuat menjadi 1 g/L untuk menganalisa pengaruh ion magnesium, pH dan waktu flokulasi terhadap efisiensi flokulasi. Konsentrasi ion magnesium yang ditambahkan ke dalam suspensi sel mikroalga dibuat menjadi lima variasi yaitu 1, 2, 3, 4 dan 5 mM sedangkan nilai pH dibuat menjadi empat variasi yaitu pH 9, 10, 11 dan 12. Setelah flokulan ditambahkan ke dalam suspensi sel mikroalga dan pH diatur pada kisaran 9-12, suspensi sel kemudian dihomogenisasi menggunakan *vortex* selama 10 detik lalu diletakkan pada suhu kamar selama 30 dan 60 menit (waktu flokulasi).

Pengaruh Konsentrasi Biomassa Mikroalga terhadap Efisiensi Flokulasi pada pH dan Konsentrasi Ion Magnesium Optimum

Konsentrasi biomassa mikroalga diatur menjadi tiga variasi yaitu 0,2; 0,5; dan 1 g/L. Dua konsentrasi ion magnesium yang optimal dipilih berdasarkan eksperimen sebelumnya yaitu 4 dan 5 mM, sedangkan nilai pH diatur pada kisaran 10 hingga 11,5. Nilai pH diatur dengan cara menambahkan larutan 0,5 M HCl dan 0,5 M NaOH. Suspensi sel yang telah dihomogenkan dengan menggunakan *vortex* selama 10 detik selanjutnya didiamkan selama 30 menit. Waktu

flokulasi optimal 30 menit dipilih berdasarkan eksperimen sebelumnya.

Optimasi pH Pada Kultur dengan Konsentrasi Biomassa Rendah dan Tinggi untuk Mendapatkan Efisiensi Flokulasi Optimum

Konsentrasi biomassa mikroalga diatur menjadi 0,2 g/L sebagai konsentrasi biomassa rendah dan 1 g/L sebagai konsentrasi biomassa tinggi. Konsentrasi ion magnesium yang digunakan adalah konsentrasi ion magnesium optimum (4 mM). Optimasi nilai pH dilakukan pada rentang 11,25 hingga 12,0 dengan interval 0,25.

Analisa Statistika

Semua perlakuan dalam eksperimen flokulasi dilakukan dengan tiga ulangan. Analisa statistika dilakukan dengan uji ANOVA satu jalur (one-way ANOVA) menggunakan piranti lunak Minitab 16. Signifikansi perlakuan terhadap efisiensi flokulasi ditentukan dengan nilai P yang kurang dari 0,05.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Mikroalga dan Kondisi Kultivasi

Mikroalga yang digunakan pada studi ini merupakan strain mikroalga potensial penghasil biodiesel yang diberi kode LIPI-LBB13-AL045. Berdasarkan perbandingan karakteristik morfologi serta profil asam lemak, strain mikroalga tersebut memiliki kemiripan dengan mikroalga genus *Choricystis* (Chen, *et al.*, 2017; Menezes, *et al.*, 2016; Tsolcha, *et al.*, 2015). Mikroalga yang diisolasi dari perairan darat di provinsi Bengkulu ini memiliki kemampuan dalam memproduksi lipid dengan jumlah yang tinggi per bobot keringnya yaitu mencapai hampir 50%. Lipid yang dihasilkan oleh mikroalga LIPI-LBB13-AL045 juga sudah dikarakterisasi dan diketahui memiliki profil asam lemak yang sesuai untuk dikembangkan sebagai biodiesel yaitu 31,01% asam lemak jenuh, 44,65% asam lemak tak jenuh tunggal dan 24,34% asam lemak tak jenuh ganda (Praharyawan, *et al.*, 2016). Kandungan asam lemak tak

jenuh tunggal atau *monounsaturated fatty acid* (MUFA) pada profil asam lemak mikroalga LIPI-LBB13-AL045 yang mencapai 44,65% (Praharyawan, *et al.*, 2016), mengindikasikan bahwa lipid dalam sel mikroalga tersebut sesuai untuk diaplikasikan sebagai biodiesel (Islam, *et al.*, 2015; Nascimento, *et al.*, 2013). Penelitian mikroalga dari genus *Choricystis* oleh Menezes, *et al.*, (2016) juga menunjukkan hasil yang serupa, yaitu kandungan MUFA yang mencapai 47,37% mengindikasikan bahwa mikroalga tersebut berpotensi untuk dijadikan sebagai bahan baku biodiesel.

Kultivasi mikroalga LIPI-LBB13-AL045 yang akan digunakan pada eksperimen flokulasi dilakukan di bawah pencahayaan sinar matahari hingga pertumbuhannya mendekati fase akhir stasioner. Pada fase tersebut, kandungan lipid di dalam sel mikroalga LIPI-LBB13-AL045 tinggi sedangkan pada fase akhir stasioner, energi yang didapat tidak lagi digunakan untuk pertumbuhan atau pembelahan sel melainkan digunakan untuk mengakumulasi lipid di dalam sel (Li, *et al.*, 2014). Saat fase stasioner, biomassa yang didapat merupakan jumlah produksi biomassa maksimal dari yang dihasilkan pada suatu kultivasi (Labbe, *et al.*, 2017). Pemanenan mikroalga pada saat mendekati fase akhir stasioner juga akan dilakukan ketika skala kultivasi mikroalga telah mencapai skala produksi untuk komersial. Berdasarkan nilai pertumbuhan spesifik pada penelitian sebelumnya yang mencapai $0,437 \pm 0,010$ per hari (Praharyawan, *et al.*, 2016) maka strain mikroalga LIPI-LBB13-AL045 termasuk ke dalam strain mikroalga yang mudah dan cepat tumbuh sehingga sangat berpotensi untuk dapat dikembangkan ke skala komersial.

Pengaruh Ion Magnesium, pH dan Waktu Flokulasi terhadap Efisiensi Flokulasi

Berdasarkan uji ANOVA (Tabel 1) diketahui bahwa pH atau derajat keasaman merupakan faktor yang paling signifikan dalam mempengaruhi efisiensi flokulasi ($p < 0,05$). Begitu juga dengan konsentrasi

Tabel 1. Hasil uji Anova pengaruh ion magnesium, pH dan waktu flokulasi serta interaksi pH dengan konsentrasi ion magnesium

Sumber	db	Rerata Kuadrat	F	Signifikansi
Ion Magnesium	4	79,180	6,16	0,001
pH	3	308,69	24,01	0,000
Waktu Flokulasi	1	10,660	0,83	0,369
pH * Ion Magnesium	12	22,340	3,16	0,011

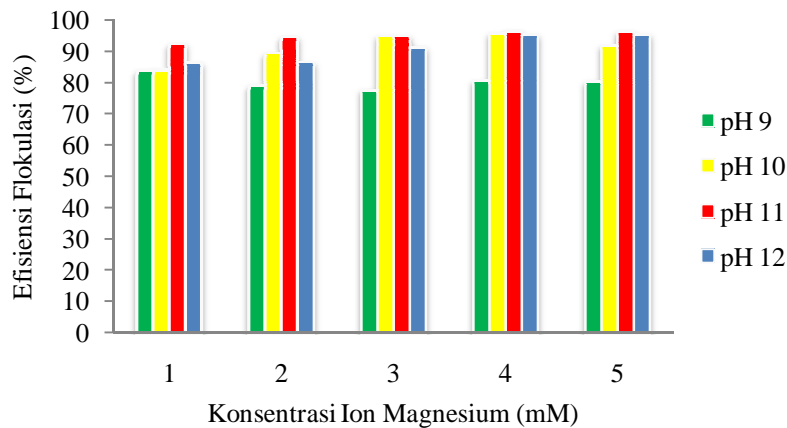
Keterangan: db = derajat bebas

ion magnesium yang juga memberikan pengaruh signifikan terhadap nilai efisiensi flokulasi sel mikroalga strain LIPI-LBB13-AL045 ($p < 0,05$). Interaksi antara keduanya, pH dan konsentrasi ion magnesium menunjukkan hasil yang saling mempengaruhi secara signifikan terhadap efisiensi flokulasi berdasarkan uji ANOVA ($p < 0,05$). Pengaruh pH dan magnesium bisa dilihat pada Gambar 1 dan 2. kedua gambar tersebut dapat diketahui bahwa peningkatan pH dari 9 ke 10 memberikan loncatan nilai efisiensi flokulasi yang dimulai pada konsentrasi ion magnesium 2 mM, baik itu pada waktu flokulasi 30 menit maupun 60 menit. Flokulasi sel mikroalga strain LIPI-LBB13-AL045 secara optimum mulai terjadi pada kondisi lingkungan pH 10 dan konsentrasi ion magnesium sebesar 2 mM.

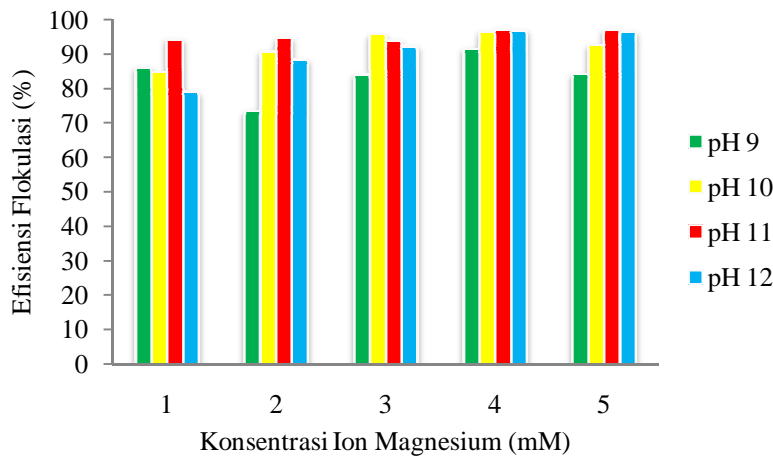
Pada konsentrasi ion magnesium 3-5 mM, efisiensi flokulasi selalu mencapai nilai di atas 90% yang dimulai dari pH 10 (Gambar 1). Sementara pada pH 9, flokulasi yang terjadi belum mencapai hasil yang optimal (di bawah 90%). Hal ini mengindikasikan bahwa perubahan pH media dari 9 ke 10 memberikan perubahan yang signifikan pada permukaan sel mikroalga strain LIPI-LBB13-AL045 yaitu terjadinya netralisasi muatan pada permukaan sel mikroalga oleh ion magnesium. Menurut Vandamme, *et al.* (2013), salah satu mekanisme terjadinya flokulasi adalah netralisasi muatan permukaan sel yang akan mengakibatkan hilangnya gaya repulsi (tolak-menolak) antar partikel sel sehingga sel akan terkoagulasi hingga akhirnya mengalami flokulasi. Konsentrasi ion magnesium yang dibutuhkan oleh mikroalga strain LIPI-LBB13-AL045 untuk terflokulasi relatif

cukup tinggi. Berbeda dengan *Chlorella* yang hanya membutuhkan konsentrasi ion magnesium sebesar 0,3-1 mM (Garcia-Perez, *et al.*, 2014) serta *Scenedesmus* yang membutuhkan konsentrasi ion magnesium 0,25-0,6 mM (Folkman & Wachs, 1973). Hal tersebut kemungkinan disebabkan oleh ukuran sel mikroalga strain LIPI-LBB13-AL045 yang lebih kecil dibandingkan dengan *Chlorella* dan *Scenedesmus*. Semakin kecil ukuran sel mikroalga maka akan semakin besar luas permukaan sel yang butuh untuk dinetralkan oleh ion magnesium. Oleh karena itu, konsentrasi ion magnesium yang harus ditambahkan akan semakin besar.

Sementara itu, waktu flokulasi menunjukkan pengaruh yang tidak signifikan terhadap efisiensi flokulasi berdasarkan hasil uji Anova (Tabel 1). Nilai efisiensi flokulasi tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan pada rentang pH dan konsentrasi ion magnesium yang digunakan, baik didiamkan selama 30 ataupun 60 menit. Hal ini memberikan informasi bahwa perubahan muatan pada permukaan sel mikroalga strain LIPI-LBB13-AL045 membutuhkan waktu kurang dari 30 menit. Proses flokulasi mikroalga strain LIPI-LBB13-AL045 menggunakan ion magnesium pada kisaran pH 10-12 berlangsung dengan cepat serta efektif. Semakin cepat waktu yang dibutuhkan oleh mikroalga untuk terflokulasi maka proses pemanenan mikroalga pada skala yang lebih besar akan semakin efektif dan menguntungkan secara ekonomi.



Gambar 1. Pengaruh konsentrasi ion magnesium [Mg^{2+}] dan pH terhadap efisiensi flokulasi dengan waktu flokulasi 30 menit



Gambar 2. Pengaruh konsentrasi ion magnesium [Mg^{2+}] dan pH terhadap efisiensi flokulasi dengan waktu flokulasi 60 menit

Pengaruh Konsentrasi Biomassa Mikroalga terhadap Efisiensi Flokulasi pada Kisaran pH dan Konsentrasi Ion Magnesium Optimum

Berdasarkan hasil yang didapat sebelumnya, eksperimen flokulasi mikroalga strain LIPI-LBB13-AL045 pada variasi konsentrasi biomassa dilakukan dengan menggunakan kondisi pH di kisaran 10 hingga 11,5 dan konsentrasi ion magnesium 4 dan 5 mM. Secara umum, pada berbagai konsentrasi biomassa dan pada rentang konsentrasi ion magnesium optimum, jika nilai pH semakin meningkat dari 10 ke 11,5 maka nilai efisiensi flokulasi yang diperoleh akan semakin tinggi. Hasil analisa statistik (Tabel 2) menunjukkan bahwa konsentrasi biomassa

(0,2-1 g/L) memiliki pengaruh yang signifikan terhadap nilai efisiensi flokulasi pada rentang pH dan konsentrasi ion magnesium yang digunakan. Di sisi lain, pH dan konsentrasi ion magnesium tidak memiliki pengaruh signifikan terhadap nilai efisiensi pada rentang nilai yang digunakan.

Pada konsentrasi biomassa yang rendah (0,2 dan 0,5 g/L), pH yang dibutuhkan untuk menginduksi terjadinya flokulasi akan semakin tinggi. Namun, pada konsentrasi biomassa yang tinggi (1 g/L), pH 10 pada konsentrasi ion magnesium optimum sudah bisa digunakan untuk menginduksi terjadinya flokulasi sehingga nilai efisiensinya mencapai lebih dari 80%. Hasil tersebut berbeda dengan

hasil yang didapatkan oleh Garcia-Perez, *et al.*, (2014) yang menggunakan *Chlorella vulgaris*, dimana flokulasi mikroalga *Chlorella* dengan konsentrasi biomassa rendah (0,1 atau 0,2 g/L) bisa mulai diinduksi oleh pH 10,5. Perbedaan tersebut kemungkinan disebabkan oleh perbedaan karakteristik permukaan sel antara *Chlorella* dengan mikroalga strain LIPI-LBB13-AL045.

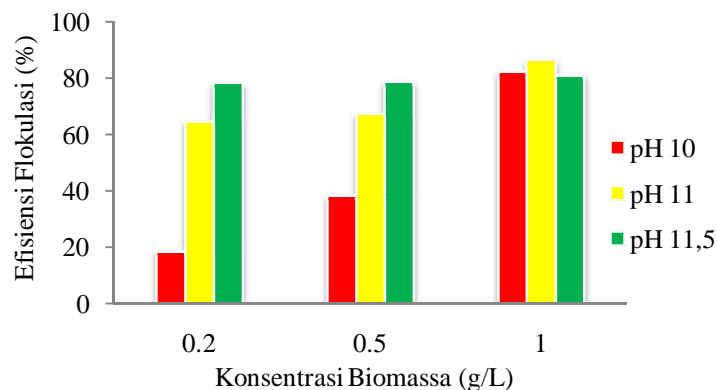
Gambar 3 dan 4 menunjukkan bahwa pada pada kultur mikroalga dengan

konsentrasi biomassa rendah, flokulasi sangat tergantung dari nilai pH lingkungan, dimana pH yang dibutuhkan semakin tinggi untuk mencapai nilai efisiensi flokulasi optimum. Sementara pada kultur mikroalga dengan konsentrasi biomassa tinggi, pH yang dibutuhkan untuk mencapai nilai efisiensi flokulasi optimum lebih rendah dibandingkan kultur mikroalga dengan konsentrasi biomassa rendah.

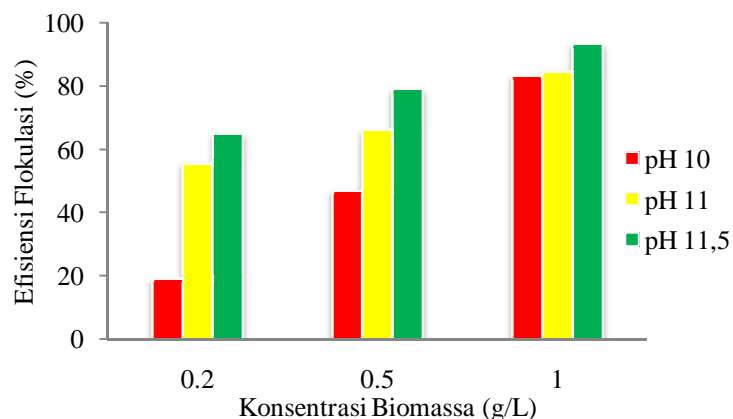
Tabel 2. Hasil uji Anova pengaruh konsentrasi biomassa, pH dan ion magnesium

Sumber	db	Rerata Kuadrat	F	Signifikansi
Konsentrasi Biomassa	2	2839,0	15,99	0,000
pH	2	672,7	3,79	0,053
Ion Magnesium	1	26,5	0,15	0,706

Keterangan: db = derajat bebas



Gambar 3. Pengaruh konsentrasi biomassa terhadap efisiensi flokulasi pada konsentrasi ion magnesium 4 mM dan berbagai variasi pH (10-11,5)

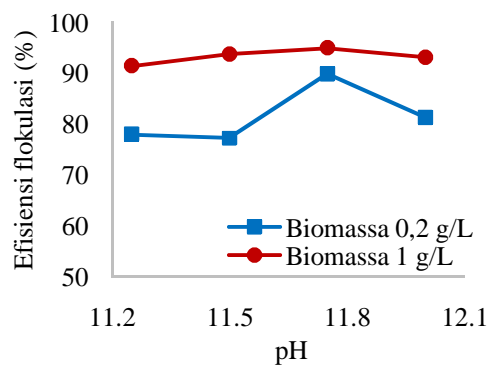


Gambar 4. Pengaruh konsentrasi biomassa terhadap efisiensi flokulasi pada konsentrasi ion magnesium 5 mM dan berbagai variasi pH (10-11,5)

Oleh karena itu, berdasarkan penelitian ini dapat diketahui bahwa konsentrasi biomassa merupakan parameter krusial yang harus diketahui terlebih dahulu sebelum dilakukan pemanenan mikroalga karena kondisi flokulasi yang dibutuhkan saling berbeda antara kultur mikroalga dengan konsentrasi biomassa rendah dan konsentrasi biomassa tinggi.

Optimasi pH pada Kultur dengan Konsentrasi Biomassa Rendah dan Tinggi untuk Mendapatkan Efisiensi Flokulasi Optimum

Karakteristik flokulasi sel mikroalga strain LIPI-LBB13-AL045 pada konsentrasi flokulan optimum antara kultur dengan konsentrasi biomassa rendah dan konsentrasi biomassa tinggi saling berbeda. Oleh karena itu, kondisi lingkungan yang dibutuhkan antara keduanya untuk mencapai efisiensi flokulasi yang optimum juga berbeda. Perbedaan tersebut terutama terletak pada tingkat kebasahan kultur ketika flokulan ditambahkan. Hasil percobaan pada Gambar 5 menunjukkan bahwa flokulasi sel mikroalga pada kultur dengan konsentrasi biomassa rendah secara efektif mulai terjadi pada pH 11,5 dan mencapai optimum pada pH 11,75.



Gambar 5. Optimasi pH pada kultur dengan konsentrasi biomassa rendah (0,2 g/L) dan konsentrasi biomassa tinggi (1 g/L) pada konsentrasi ion magnesium optimum (4 mM)

Pada nilai pH lebih dari 11,75, flokulasi sel mikroalga segera mengalami penurunan. Karakteristik flokulasi yang

berbeda ditunjukkan oleh kultur dengan konsentrasi biomassa tinggi (1 g/L). Pada rentang nilai pH yang dioptimasi, nilai efisiensi flokulasi sel mikroalga tidak mengalami banyak perubahan. Hal itu terjadi karena flokulasi sel mikroalga pada kultur dengan konsentrasi biomassa tinggi sudah mulai terjadi pada pH 10, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.

Perbedaan nilai pH yang menginisiasi terjadinya flokulasi antara kultur dengan konsentrasi biomassa rendah dan konsentrasi biomassa tinggi terpaut cukup jauh yaitu antara 11,5 dan 10 secara berturut-turut. Hal ini menunjukkan bahwa flokulasi pada kultur dengan konsentrasi biomassa rendah yang menggunakan flokulan kation bivalen (Mg^{2+}) sangat tergantung pada proses netralisasi muatan yang terjadi pada pH tinggi, dimulai dari pH 11,5 dan terus berlanjut hingga pH 11,75 (Shelef, *et al.*, 1984). Sementara itu, flokulasi pada kultur dengan konsentrasi biomassa tinggi tidak terlalu bergantung pada nilai pH. Flokulasi pada kultur dengan konsentrasi biomassa tinggi diawali dengan netralisasi muatan yang dimulai pada pH 10 diikuti dengan terjadinya proses penyapuan (*sweeping*). Sebagian sel mikroalga dalam kultur telah mengalami netralisasi muatan pada pH 10, selanjutnya sel tersebut akan terkoagulasi dan membentuk koagulat yang berukuran besar. Koagulat sel mikroalga yang berukuran besar tersebut akan menyapu sel-sel mikroalga berukuran kecil yang belum terkoagulasi di dalam kultur. Sel-sel mikroalga yang berukuran kecil dapat terperangkap di dalam koagulat sel mikroalga yang berukuran besar sehingga akan ikut terbawa mengendap dan bersama-sama mengalami flokulasi. Kombinasi netralisasi muatan dan penyapuan merupakan mekanisme yang terjadi pada proses flokulasi kultur mikroalga LIPI-LBB13-AL045 dengan konsentrasi biomassa tinggi. Hasil yang sama juga ditunjukkan oleh Garcia-Perez, *et al.* (2014) pada proses flokulasi mikroalga *Chlorella vulgaris* dengan menggunakan flokulan ion magnesium.

4. KESIMPULAN

Proses flokulasi sel-sel mikroalga strain LIPI-LBB13-AL045 menggunakan flokulan ion magnesium terjadi melalui mekanisme netralisasi muatan dan penyapuan (*sweeping*). Konsentrasi ion magnesium, nilai pH dan konsentrasi biomassa mikroalga merupakan tiga faktor signifikan yang mempengaruhi nilai efisiensi flokulasi berdasarkan hasil yang didapatkan, sementara waktu flokulasi tidak berpengaruh secara signifikan terhadap nilai efisiensi flokulasi. Konsentrasi ion magnesium optimum yang dibutuhkan untuk mencapai nilai efisiensi flokulasi yang tinggi adalah 4 mM. Derajat kebasahan (pH) yang dibutuhkan agar flokulasi terjadi dengan efisiensi tinggi dimulai pada pH 10 untuk kultur mikroalga dengan konsentrasi biomassa tinggi dan pH 11,5 untuk kultur mikroalga dengan konsentrasi biomassa rendah, sedangkan nilai pH optimum berada pada kisaran 11,75. Pada kondisi optimum, nilai efisiensi flokulasi untuk kultur mikroalga dengan konsentrasi biomassa tinggi mencapai 94,89%, sementara nilai efisiensi flokulasi untuk kultur dengan konsentrasi biomassa rendah adalah 89,75%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Delicia Y. Rahman, Dwi Susilaningsih dan segenap personel di Laboratorium Bioenergi dan Bioproses, Pusat Penelitian Bioteknologi, LIPI, serta kepada Akhmad Endang Zainal Hasan, staf pengajar di Departemen Biokimia, Institut Pertanian Bogor.

DAFTAR PUSTAKA

- Chen, Y., Li, X., Sun, Z. & Zhou, Z. (2017). Isolation and identification of *Choricystis minor* Fott and mass cultivation for oil production. *Algal Research*, 25, 142-148.
- Chisti, Y. (2007). Biodiesel from microalgae. *Biotechnology Advances*, 25(3), 294-306.
- Christenson, L. & Sims, R. (2011). Production and harvesting of microalgae for wastewater treatment, biofuels and bioproducts. *Biotechnology Advances*, 29, 686-702.
- Folkman, Y. & Wachs, A.M. (1973). Removal of algae from stabilization pond effluents by lime treatment. *Water Research*, 7, 419-435.
- Garcia-Perez, J.S., Beuckels, A., Vandamme, D., Depraetere, O., Foubert, I., Parra, R. & Muylaert, K. (2014). Influence of magnesium concentration, biomass concentration and pH on flocculation of *Chlorella vulgaris*. *Algal Research*, 3, 24-29.
- He, Q., Yang, H. & Hu, C. (2016). Culture modes and financial evaluation of two oleaginous microalgae for biodiesel production in desert area with raceway pond. *Bioresource Technology*, 218, 571-579.
- Islam, M.A., Brown, R.J., Brooks, P.R., Jahirul, M.I., Bockhorn, H. & Heimann, K. (2015). Investigation of the effects of the fatty acid profile on fuel properties using a multi-criteria decision analysis. *Energy Conversion and Management*, 98, 340-347.
- Labbe, J.I., Ramos-Suarez, J.L., Hernandez-Perez, A., Baeza, A. & Hansen, F. (2017). Microalgae growth in polluted effluents from the dairy industry for biomass production and phytoremediation. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 5, 635-643.
- Li, S., Xu, J., Chen, J., Chen, J., Zhou, C. & Yan, X. (2014). The major lipid changes of some important diet microalgae during the entire growth phase. *Aquaculture*, 428-429, 104-110.
- Mata, T.M., Martins, A.A. & Caetano, N.S. (2010). Microalgae for biodiesel and other applications: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14, 217-232.
- Menezes, R.S., Soares, A.T., Junior, J.G.M., Lopes, R.G., da Arantes, R.F., Derner, R.B. & Filho, N.R.A. (2016). Culture medium influence on growth, fatty acid and pigment composition of *Choricystis minor* var. *minor*: a suitable microalga for biodiesel production. *Journal of Applied Phycology*, 28, 2679-2686.

- Nascimento, I.A., Marques, S.S.I., Cabanelas, I.T.D., Pereira, S.A., Druzian, J.I., de Souza, C.O., Vich, D.V., de Carvalho, G.C. & Nascimento, M.A. (2013). Screening microalgae strains for biodiesel production: Lipid productivity and estimation of fuel quality based on fatty acids profiles as selective criteria. *Bioenergy Research*, 6, 1-13.
- Praharyawan, S., Rahman, D.Y. & Susilaningsih, D. (2016). Characterization of lipid productivity and fatty acid profile of three fast-growing microalgae isolated from Bengkulu for possible use in health application. *Journal of Tropical Life Science*, 6(2), 79-85.
- Schlesinger, A., Eisenstadt, D., Bar-Gil, A., Carmely, H., Einbinder, S. & Gressel, J. (2012). Inexpensive non-toxic flocculation of microalgae contradicts theories: overcoming a major hurdle to bulk algal production. *Biotechnology Advances*, 30, 1023-1030.
- Shelef, G., Sukenik, A. & Green, M. (1984). Microalgae harvesting and processing: a literature review. SERI/STR-231-2396. Golden Colorado: Solar Energy Research Institute.
- Smith, B.T. & Davis, R.H. (2012). Sedimentation of algae flocculated using naturally-available, magnesium-based flocculants. *Algal Research*, 1, 32-39.
- Tsolcha, O.N., Tekerlekopoulou, A.G., Akrotos, C.S., Bellou, S., Aggelis, G., Katsiapi, M., Moustaka-Gouni, M. & Vayenas, D.V. (2015). Treatment of second cheese whey effluents using a *Choricystis*-based system with simultaneous lipid production. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 91, 2349-2359.
- Vandamme, D., Foubert, I., Fraeye, I., Meesschaert, B. & Muylaert, K. (2012). Flocculation of *Chlorella vulgaris* induced by high pH: Role of magnesium and calcium and practical implications. *Bioresource Technology*, 105, 114-119.
- Vandamme, D., Foubert, I. & Muylaert, K. (2013). Flocculation as a low-cost method for harvesting microalgae for bulk biomass production. *Trends in Biotechnology*, 31(4), 233-239.
- Wu, Z., Zhu, Y., Huang, W., Zhang, C., Li, T., Zhang, Y. & Li, A. (2012). Evaluation of flocculation induced by pH increase for harvesting microalgae and reuse of flocculated medium. *Bioresource Technology*, 110, 496-502.